



UNNOBA

NÚCLEOS

Revista científica

AGOSTO DE 2015

2

AGUA RECURSO VITAL

USO DEL AGUA
SUBTERRÁNEA
Y DESARROLLO
SOSTENIBLE

EDUARDO E. KRUSE



DEL VIEJO SISTEMA
MÉTRICO DECIMAL (1799)
AL ACTUAL SISTEMA
INTERNACIONAL DE
UNIDADES (1960) Y DESPUÉS...

MARIO GARAVAGLIA

LA FÍSICA CUÁNTICA
EN EL MUNDO
MACROSCÓPICO:
LOS FLUIDOS CUÁNTICOS

SUSANA HERNÁNDEZ

LA RELEVANCIA
DE CHINA
EN EL ESCENARIO
MUNDIAL ACTUAL

NORBERTO E. CONSANI

AUTORIDADES ACADÉMICAS

Rector: **Dr. Guillermo R. Tamarit**
Vicerrectora: **Mg. Danya V. Tavela**
Secretario General: **Abog. Diego J. Batalla**
Secretario de Investigación, Desarrollo y Transferencia: **Dr. Jerónimo E. Ainchil**
Secretaria Académica: **Abog. Ma. Florencia Castro**
Secretario de Extensión Universitaria: **Lic. Juan P. Itoiz**
Secretaria de Asuntos Económico-Financieros: **Cdora. Mariela E. García**
Secretario Legal y Técnico: **Abog. Carlos D. Pérez**
Secretaria de Cultura: **Lic. Laura Durán**
Prosecretaria de Investigación, Desarrollo y Transferencia: **Lic. Silvina Sansarriecq**
Directora de Instituto de Posgrado: **Prof. Ma. Rosa Depetris**
Directora Centro de Edición y Diseño: **DCV Ma. de las Mercedes Filpe**

Guardasellos: **Ing. Luis J. Lima**

DIRECTOR DE LA REVISTA
Dr. Ángel L. Plastino

SUMARIO

#2 AGUA RECURSO VITAL

PÁG. 4	PÁG. 30	PÁG. 37	PÁG. 44
DEL VIEJO SISTEMA MÉTRICO DECIMAL (1799) AL ACTUAL SISTEMA INTERNACIONAL DE UNIDADES (1960) Y DESPUÉS...	USO DEL AGUA SUBTERRÁNEA Y DESARROLLO SOSTENIBLE	LA FÍSICA CUÁNTICA EN EL MUNDO MACROSCÓPICO: LOS FLUIDOS CUÁNTICOS	LA RELEVANCIA DE CHINA EN EL ESCENARIO MUNDIAL ACTUAL
MARIO GARAVAGLIA	EDUARDO E. KRUSE	SUSANA HERNÁNDEZ	NORBERTO E. CONSANI

Edita



CEDi Centro de Edición y Diseño. UNNOBA
DCV Ma. de las Mercedes Filpe

Callao 289 3.º piso, CP.1022
Tel 54 11 53531520. Ciudad Autónoma
de Buenos Aires, Argentina

Diseño y diagramación

CEDi Centro de Edición y Diseño
Coordinador: DCV Cristian Rava
DCV Ma. de las Mercedes Ortín,
DCV Claudia Di Paola, DCV Bernabé Díaz

Corrector de estilo: Mariángel Mauri

Impresión

Buschi S.A.

Año 1 N.º 2

Agosto de 2015
Tirada 500 ejemplares
ISSN 2408-4492
Queda hecho el depósito
que marca la ley 11723

Se invita a potenciales colaboradores
a remitir sus trabajos al CEDi
(cedi@unnoba.edu.ar)

Sede Junín

Libertad 555, CP.6000
Tel 54 236 4407750
Junín, Prov. de Buenos Aires, Argentina

Sede Pergamino

Monteagudo 2772, CP.2700
Tel 54 2477 409500.
Pergamino, Prov. de Buenos Aires, Argentina

www.unnoba.edu.ar

USO DEL AGUA SUBTERRÁNEA Y DESARROLLO SOSTENIBLE

La extracción de aguas subterráneas a nivel mundial se ha incrementado de manera significativa en las últimas décadas debido a que han mejorado las técnicas de exploración y los métodos de perforación, lo cual a su vez permitió que los costos fueran relativamente más accesibles.

De acuerdo con los documentos de la UNESCO,¹ aproximadamente 2,5 billones de personas en el mundo dependen exclusivamente del agua subterránea para satisfacer sus necesidades de agua potable y cientos de millones de agricultores dependen de ella para mantener sus medios de subsistencia y contribuir a la seguridad alimentaria a nivel global.

Si bien se han logrado grandes avances en el conocimiento sobre las aguas subterráneas, aún hay temas que profundizar, como el funcionamiento detallado de los sistemas acuíferos. Sin embargo, según los expertos de la UNESCO, la gobernanza de gran parte de los acuíferos no tiene en cuenta la sostenibilidad necesaria para conservar y proteger estos recursos vitales para el hombre. Esto es motivo de un creciente riesgo global de agotamiento, contaminación y deterioro de la calidad de las aguas subterráneas, e incluso de la asignación no equitativa del recurso del agua.

El término “gobernanza”, utilizado en forma creciente a partir de los artículos de *Hydrogeology Journal*,² hace referencia básicamente a la gestión y planificación del uso de agua subterránea. Si bien existen distintas definiciones del término, en forma general se refiere a una organización de acciones colectivas que aseguren un uso socialmente sustentable y una protección efectiva de los recursos de aguas subterráneas para el beneficio de la humanidad y los ecosistemas asociados. De esta forma, no solo se trata de una responsabilidad gubernamental, vinculada con la planificación y legislación; también requiere de la participación de los usuarios directos e indirectos del agua y de la sociedad en general, teniendo en cuenta las costumbres locales. Todo ello en consonancia con una perspectiva de uso sostenible para las actuales y futuras generaciones.³

El noreste de la provincia de Buenos Aires es una de las regiones de mayor explotación de agua subterránea en Argentina. Numerosos centros del aglomerado urbano, que representan una población de más de quince millones de habitantes, han sido tradicionalmente abastecidos y en la actualidad muchos de ellos aún continúan utilizando el recurso subterráneo. Además, en esta región se desarrolla la producción industrial más importante (superior al 70% del país), que se abastece primordialmente de este recurso. También el riego intensivo (horticultura) y extensivo (cereales) en áreas periurbanas y rurales demanda volúmenes importantes de agua subterránea.

En este caso debe reconocerse que una falta de gobernanza adecuada dio lugar a la explotación excesiva de este recurso, lo cual se asocia a una disminución o agotamiento de reservas, intrusión de agua salada, contaminación y diversas consecuencias negativas que afectan directamente las posibilidades de uso del recurso y un desarrollo sostenible.

En este trabajo se trata de realizar una descripción de los recursos de aguas subterráneas y las modificaciones a que se encuentra sometido por las actividades desarrolladas por el hombre en el noreste de la provincia de Buenos Aires, tomando como un ejemplo de mayor detalle la zona de La Plata y alrededores.

EL ACUÍFERO PUELCHE

En el noreste de la provincia de Buenos Aires se localiza una de las reservas de aguas subterráneas más importantes de Argentina, que corresponde al acuífero semiconfinado denominado “Puelche”. Su extensión abarca las provincias de Buenos Aires, Santa Fe, Córdoba y Entre Ríos y se caracteriza por su buena calidad y productividad, lo cual da lugar a una significativa explotación y diversidad de usos.

Geológicamente la región se ubica en una cuenca sedimentaria en la que las acumulaciones de sedimentos superan, en términos medios, los 400 m de espesor. Sobre el basamento (rocas metamórficas y plutónicas), de edad precámbrico, se desarrolla una unidad sedimentaria del Mioceno inferior, de origen continental, denominada Formación Olivos o “El Rojo” de espesores que pueden superar los 200 m. Luego se ubican sedimentos marinos del Mioceno superior correspondientes a la Formación Paraná o “El Verde”, cuyos espesores pueden alcanzar valores superiores a 200 m. Por encima, se sitúan la Formación Puelches, de edad Plio-Pleistoceno, cuyos espesores predominantes oscilan entre los 20 y 30 m, y los Sedimentos Pampeanos, del Pleistoceno medio–superior, con espesores de entre 15 y 120 m.⁴

Desde un punto de vista práctico, las unidades del subsuelo menos profundas, situadas a una profundidad menor a 100 m desde la superficie del terreno: Pampeano (limo arcilloso) y Formación Puelches (arenas cuarzosas, sueltas, finas a medianas) son las más conocidas, ya que constituyen las unidades de captación de aguas subterráneas. Además, son las que presentan una mayor significación en relación con el ciclo hidrológico actual y con los aspectos ambientales.

La presencia de la unidad acuífera (unidad geológica que recibe, almacena y transmite agua con facilidad) Puelche tiene fundamental importancia debido a su gran extensión areal, la aceptable calidad natural de sus aguas y los altos caudales de extracción que admite.

La región se caracteriza por un clima templado–húmedo, con variaciones en los valores anuales de precipitación, que determinan la existencia de períodos secos y/o húmedos. Es posible reconocer que existe una tendencia a valores de precipitación anual del orden de 1000 mm/año, hasta la década de 1980, y posteriormente se observa un incremento en los valores. Los excesos de la precipitación a través de la infiltración son la única fuente de recarga del agua subterránea. Por esa razón el régimen de precipitaciones adquiere importancia para el recurso hídrico subterráneo, dada su influencia en las posibilidades de alimentación de las unidades acuíferas (Pampeano – Puelche) y en la evolución de sus reservas subterráneas.

SISTEMA NATURAL

Las unidades hidrogeológicas Pampeano y Puelche se encuentran interrelacionadas y constituyen un “sistema acuífero multicapa”. La capa freática, incluida en la parte superior del Pampeano, es el elemento activo del sistema, ya que en ella se produce la recarga natural en forma directa. En cambio, las unidades más profundas (Puelche), al no presentar afloramientos, lo hacen en forma indirecta a través de las unidades suprayacentes.

Químicamente el agua del Pampeano y del Puelche presenta baja salinidad (menor a 1500 mg/l), con contenido bajo de aniones y cationes y carece de oligoelementos perjudiciales. Si bien arealmente muestran poca variación, aumentan los valores hacia la zona de descarga, especialmente de salinidad, cloruros y sulfatos.

Como se indicó, la recarga del agua subterránea se produce, en condiciones naturales, exclusivamente por infiltración de los excesos de agua meteórica en toda el área de las cuencas hidrológicas, aunque predomina en la zona de los interfluvios (llanura alta).

La descarga se localiza a lo largo de los principales cursos de agua. Esta descarga constituye el caudal básico de los ríos y es la que le otorga el carácter permanente a los cuerpos de agua superficiales.

El acuífero Puelche presenta áreas de predominio de recarga y descarga coincidentes con las del acuífero freático, aunque, dadas las características hidrogeológicas, estos procesos son indirectos a través del medio superior.

Entre la capa freática y los sistemas acuíferos inferiores existen flujos verticales gobernados por la relación entre el nivel freático y los niveles piezométricos respectivos. Estos flujos pueden ser descendentes, nulos o ascendentes, según los niveles piezométricos de los horizontes profundos sean negativos, neutros o positivos respectivamente con relación al nivel freático.

Las variaciones en los volúmenes infiltrados se reflejan en las fluctuaciones de los niveles freáticos y de los niveles piezométricos de las unidades más profundas. Están supeditadas a las condiciones climáticas, habiendo fluctuaciones de corto período debidas a la ocurrencia de lluvias, así como fluctuaciones de períodos más largos como consecuencia de alternancia de épocas secas y épocas húmedas de periodicidad plurianual.

EFFECTOS DE LAS ACTIVIDADES DEL HOMBRE

Para caracterizar los recursos hídricos subterráneos en el noreste de la provincia de Buenos Aires se pueden diferenciar dos grandes ambientes relacionados con el desarrollo de las actividades antrópicas.

Con un criterio general es posible distinguir un ambiente parcialmente alterado y otro totalmente alterado. En el primer caso, se plantea una urbanización inferior al 30% de su superficie. En esta situación se reconoce que se mantiene un predominio de las condiciones naturales y un comportamiento del agua subterránea (recarga, escurrimiento y descarga) que responde a patrones impuestos por el medio físico original. Las actividades primarias (agricultura y ganadería) y la expansión urbana de localidades separadas de la región metropolitana propiamente dicha son los rasgos principales. El uso del agua subterránea está relacionado con el abastecimiento puntual de localidades, provisión individual, utilización ganadera, riego y provisión de algunas industrias.

En el otro ambiente, la urbanización supera el 95% del área y las características naturales se encuentran totalmente alteradas por la acción del hombre. Ello no solo ha modificado la red de drenaje original mediante canalizaciones y/o entubamiento de los cursos de agua, sino que ha afectado las condiciones de infiltración, escurrimiento y química del agua subterránea. En este ámbito la actividad primaria es insignificante, puesto que prevalece el desarrollo urbano con una alta densidad poblacional e industrial. Es una zona que muestra un comportamiento heterogéneo en la explotación del agua subterránea y en su evolución en el tiempo. Existen sectores en los que se registra actualmente una explotación areal e intensiva de agua subterránea con destino al servicio de agua potable e industrias. La explotación en el pasado se realizó en otros sectores que fueron abandonados por diferentes motivos.

En esta zona las mayores oscilaciones de los niveles de aguas subterráneas se registran como consecuencia de la explotación y por ello la morfología freática no responde a las condiciones impuestas por las condiciones naturales. A pesar de que la utilización del agua freática es escasa volumétricamente, la interconexión con el Puelche hace que la explotación de este último se manifieste en una depresión de los niveles freáticos.

Cuando existe descarga artificial intensa (perforaciones de explotación) se producen conos de depresión que distorsionan totalmente el flujo natural. Así, por ejemplo, en la década del setenta existía en la zona de Avellaneda, Lanús y Lomas de Zamora un sector en el que los niveles piezométricos del acuífero se encontraban a una profundidad que podía superar los 40 m. Como consecuencia de esta sobreexplotación del agua subterránea, se produjeron distintos fenómenos perjudiciales: salinización de los niveles acuíferos (Puelche y Pampeano), transformación de ríos y arroyos en áreas de recarga (migración de contaminantes hacia los acuíferos) en lugar de constituir áreas de descarga natural, entre otros. En la actualidad, en algunos sectores de las zonas mencionadas, el abastecimiento de agua potable a partir del recurso subterráneo fue reemplazado por agua superficial del Río de La Plata, lo que trajo aparejado un rápido ascenso de los niveles de agua en el Puelche y, por consiguiente, en la capa freática. Este fenómeno asociado a un período de mayores precipitaciones produce anegamientos por afloramiento de los niveles freáticos en estructuras construidas a escasa profundidad por debajo del nivel de terreno.

La progresiva disminución o agotamiento de las reservas de agua subterránea se ha producido en gran parte de los distritos del conurbano. Un fenómeno similar puede darse debido el uso de agua industrial; tal es el caso de la zona de Zárate–Campana, donde se encuentran instalados establecimientos industriales que demandan grandes volúmenes de agua dulce. En muchos casos estos fenómenos se asocian a la salinización del acuífero por invasión lateral de agua de mayor salinidad.

Los flujos entre las unidades acuíferas pueden variar en el tiempo como consecuencia de los distintos grados de explotación, los cuales modifican su volumen o incluso invierten su sentido producto de las variaciones temporales del nivel freático y de los niveles piezométricos de los horizontes profundos, particularmente del Puelche.

AFECTACIÓN EN LA CALIDAD DEL AGUA

La existencia de flujos verticales entre los niveles acuíferos tiene importancia desde el punto de vista de la afectación de la calidad química del agua subterránea. Si se tiene en cuenta que las sustancias disueltas avanzan en la dirección del flujo, los compuestos químicos que alcancen la capa freática afectarán o podrán llegar a afectar con el tiempo al sistema hídrico subterráneo.

Es necesario diferenciar los procesos de afectación de la calidad química del agua subterránea en la zona totalmente alterada por la acción antrópica y en la zona parcialmente alterada. En el primer caso, la densidad demográfica, la carencia de servicios cloacales en algunos sectores, la mala construcción de los pozos y la distribución de plantas industriales contribuyen a que existan evidencias de contaminación química y bacteriológica en la capa freática. En el Puelche, como consecuencia de su vinculación con el acuífero freático, la calidad se ve afectada en forma indirecta. Por otra parte, la falta de aislamiento del acuífero en las perforaciones puede producir una comunicación directa con los posibles vertidos de superficie. Por estas causas, en numerosos sitios se han deteriorado las aguas del Puelche que, si bien en condiciones naturales son de buena calidad, llegan a tornarse no potables.

Un problema grave, por su amplia extensión areal, es el generado por un alto contenido en nitratos, los cuales producen un deterioro que influye en las posibilidades del uso del agua, en especial, para consumo humano. Los casos detectados son numerosos e incluso en muchos de ellos esto ha provocado que se desafectaran perforaciones para el servicio de agua potable.

El deterioro de la calidad también se origina por el ingreso de otras sustancias solubles (metales pesados, sustancias orgánicas, etc.). La información disponible indica la existencia de cromo, plomo o arsénico en pozos que extraen agua del Puelche en zonas donde existen plantas industriales próximas.

A su vez la calidad del agua subterránea en estas zonas se ve afectada como consecuencia de la intensa explotación en las proximidades de las zonas de descarga, donde se ha generado el avance de un frente salino. Los efectos de este avance se observan en la alta salinidad del agua de las perforaciones, lo cual ha obligado a dejarlas fuera de servicio.

En la zona parcialmente alterada, la contaminación responde a condiciones puntuales y el riesgo de contaminación de la capa freática y de las unidades más profundas dependerá de la vulnerabilidad natural que presenten y del tipo, cantidad y forma de vertido de posibles contaminantes.

Las características del acuífero freático en cuanto a la escasa profundidad de los niveles, a la porosidad intergranular que presenta el medio y a los procesos de infiltración relacionados con los excesos de agua de precipitación lo muestran como un acuífero de muy alta vulnerabilidad en toda el área.

Las condiciones de flujo del Puelche y su forma de recarga permiten reconocer que resulta de alta vulnerabilidad en las zonas de recarga (divisorias de aguas superficiales); variable en los sectores intermedios (conducción) y baja en las proximidades de los cursos donde se produce su descarga natural. Sin embargo, debe señalarse que, si la explotación es intensiva, se produce el descenso de los niveles piezométricos: los cursos se transforman en zonas de recarga y, por lo tanto, de alta vulnerabilidad a la contaminación.

EL CASO DE LA PLATA Y ALREDEDORES

La Plata fue fundada en 1882 y, desde 1885, cuenta con una red de abastecimiento de agua potable alimentada por agua subterránea (acuífero Puelche). Fue la primera ciudad de Argentina con suministro a partir de dicha fuente. Hasta 1955, la red se alimentó exclusivamente de aguas subterráneas; a partir de ese año el servicio se reforzó con el agua superficial proveniente del Río de La Plata.

La población de La Plata ha crecido progresivamente: en 1940 contaba con 222 695 habitantes, en 1991 con 521 936 y en 2010 con 694 613. Esta expansión urbana se llevó a cabo desde la zona centro de la ciudad hacia la periferia, sobre todo hacia el sur. En 1940 la superficie de la zona urbanizada era de aproximadamente 26 km², mientras que en la actualidad es de unos 98 km². El uso de la tierra en el área periurbana, que era originalmente de tipo agrícola, fue modificándose por el avance de la urbanización hacia los sectores medios y superiores en la cuenca de drenaje.

En relación con el balance hidrológico y las posibilidades de recarga al agua subterránea es necesario mencionar las fuertes modificaciones asociadas a las variaciones del uso de la tierra. Por ejemplo, el escu-

rrimiento superficial en condiciones naturales, para eventos lluviosos significativos (precipitación superior a 120 mm y de cinco días de duración) variaba entre el 1% y el 60% de la precipitación. El avance de la urbanización produjo modificaciones en el ciclo hidrológico natural; es así que el régimen de agua superficial actual se caracteriza por presentar importantes crecidas de corta duración (1 o 2 días), favorecidas por el escurrimiento desde la zona urbana, y se estima que, para los mismos eventos citados anteriormente bajo condiciones naturales, oscila entre 23% y 90% del total precipitado en una tormenta.⁶ Estas magnitudes permiten deducir en el balance hidrológico una disminución de los excesos con posibilidad de infiltración y recarga del agua subterránea.

En esta zona, las arenas del acuífero Puelche tienen un espesor que varía entre 15 y 30 m y una transmisividad hidráulica media de entre 150 y 1500 m²/día. Por encima de las arenas se ubican los Sedimentos Pampeanos compuestos por limos, limos arenosos o limos arcillosos con intercalaciones carbonáticas, con un espesor que oscila entre 25 y 45 m y una transmisividad hidráulica entre 10 y 315 m²/día.⁷ En la Figura 1 se esquematiza en un perfil la distribución de unidades hidrogeológicas desde la zona continental hasta el Río de la Plata.

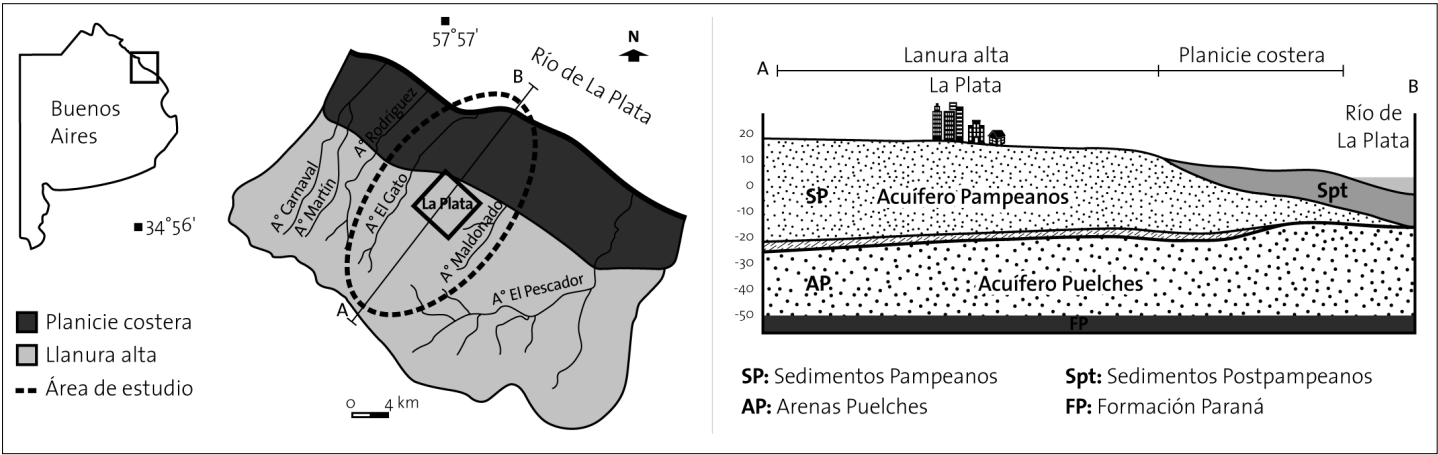


Figura 1

El flujo regional del agua subterránea, antes de su explotación, era en dirección noreste hacia el Río de la Plata. La recarga del acuífero Puelche es indirecta a través del Pampeano mediante filtración vertical descendente.⁸ La alimentación de este último es de origen meteórico. La descarga subterránea local se produce en los arroyos de la cuenca y la regional en el río.

Los primeros pozos de abastecimiento se encontraban en la zona centro de la ciudad. La necesidad de ampliar el servicio de suministro de agua potable dio lugar a la ejecución de más pozos, que se construyeron en las zonas periurbanas. La explotación actual se lleva a cabo principalmente en estas zonas y el agua subterránea extraída para la red de abastecimiento de agua alcanza un volumen próximo a 100 hm³/año. El suministro de agua total a La Plata representa un volumen aproximado de 200 hm³/año, lo cual incluye el uso combinado de las aguas subterráneas y las aguas superficiales del Río de la Plata.

El crecimiento de la población y el aumento de la demanda de agua han provocado una explotación intensiva de las aguas subterráneas, lo que ha causado una perturbación hidrodinámica y una alteración química debidas a la migración de contaminantes desde la superficie.^{9,10} Estos problemas son agravados por el conocimiento hidrogeológico limitado, irregular y en ocasiones confuso que a menudo se posee, como sucede en muchos países en desarrollo,¹¹ lo cual es motivo de la deficiente gobernanza del agua subterránea. El aumento de la explotación se basa con frecuencia en la demanda de agua en lugar de basarse en la planificación de la extracción de acuerdo con el conocimiento del comportamiento hidrogeológico.

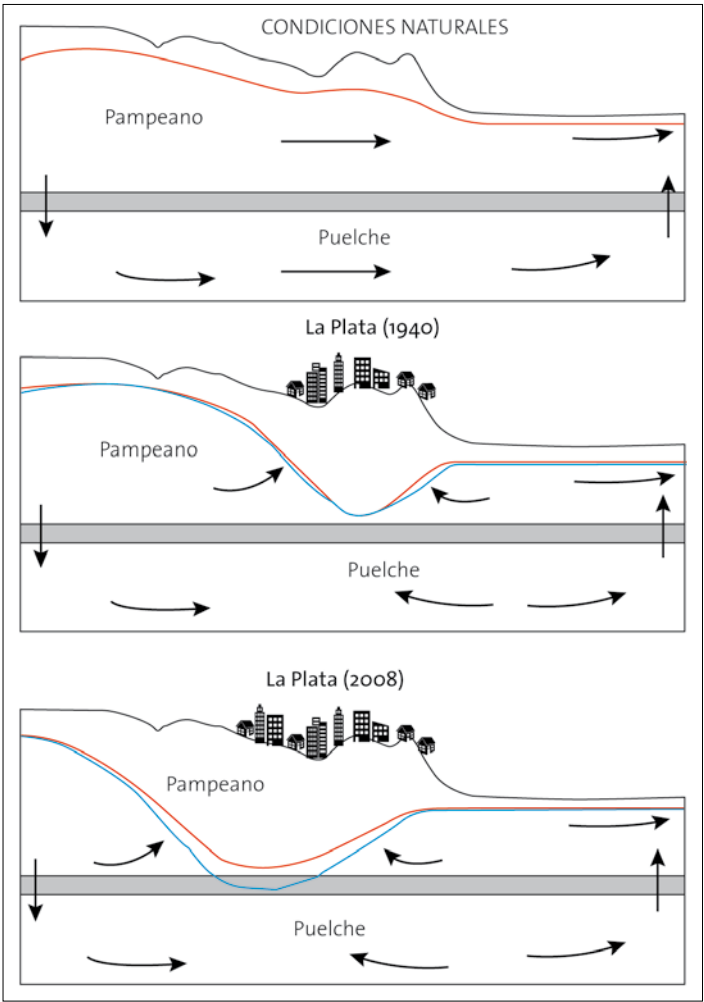
Hacia la década de 1950 debieron abandonarse numerosos pozos de alta productividad debido al avance de agua salina o salobre desde la planicie costera del Río de la Plata. En la década del setenta el desplazamiento del frente salino se producía a un ritmo de alrededor de 70 m por año. Este avance fue detenido gracias al abandono de los pozos afectados o por la reducción de los caudales, y la explotación se extendió hacia zonas más alejadas de la planicie costera.

Otro inconveniente, que incluso puede ser más grave que el anterior, es la contaminación con nitratos provenientes del acuífero libre superior, cuya migración descendente se origina en la disminución del potencial hidráulico del acuífero semiconfinado inferior (Puelche),¹⁰ que es el que provee de agua a la ciudad. Con el tiempo parte de los pozos han disminuido su producción o han sido abandonados debido a problemas de contaminación por nitratos.

La explotación de agua subterránea impone un régimen que depende principalmente de las variaciones en los volúmenes extraídos. La extracción de agua subterránea para abastecimiento humano aumentó, entre 1992 y 2003, de 50 hm³/año a 75 hm³/año (Auge, 2005), se estima que actualmente es del orden de 100 hm³/año.

La explotación del acuífero Puelche produjo la formación de conos de depresión en los niveles de agua subterránea con un progresivo aumento en su superficie y un desplazamiento desde el casco urbano hacia la zona periurbana¹². Este descenso de la superficie piezométrica afecta también a la capa freática, habiéndose modificado la relación natural entre el agua superficial y el agua subterránea.

Figura 2



En 1940 el cono de depresión del acuífero Puelche tenía una superficie de aproximadamente 20 km², ocupaba el área del casco urbano y su ápice tenía una profundización de -15 m s. n. m. En 1988 el cono ocupaba una mayor superficie (aproximadamente 26 km²) y su ápice se profundizó a -20 m s. n. m. Para el año 2008 el cono migró hacia el sudoeste, ocupaba una superficie aproximada de 34 km², el ápice se desplazó fuera del casco urbano y tenía una profundidad de -15 m s. n. m. Se observaban también conos menores (-10 m s. n. m). En la Figura 2 se bosqueja en forma comparativa la evolución de los niveles de agua subterránea para las condiciones naturales (simulada), para la situación de 1940 y 2008,¹³ observándose en estos dos últimos casos la modificación en los conos de depresión.

Las redes de desagüe y abastecimiento de agua pueden tener filtraciones y pérdidas involuntarias que ingresan al acuífero y forman parte de la recarga. De acuerdo con los datos disponibles, el volumen de agua procedente de la infiltración derivada de pérdidas en las cañerías de colectores pluviales, de los sistemas de redes de abastecimiento, de los desagües cloacales y del riego urbano es significativo. Es así que los valores de recarga urbana obtenidos (21% de la precipitación anual) sobre la base de la modelización a nivel regional son de un orden de magnitud similar a la recarga en la zona no urbana.¹⁴

En este ambiente urbanizado la estimación del balance hidrológico resulta muy compleja, ya que se modifican totalmente los factores influyentes, debido a las alteraciones producidas por el hombre, y pasan a tener influencia la impermeabilización (aumento de escurrimiento superficial y disminución de infiltración), la importación de agua (acueducto desde el Río de la Plata), las pérdidas de cañerías, los sectores con servicios cloacales y los que carecen de ellos y los volúmenes de agua subterránea extraídos.

CONSIDERACIONES FINALES

La falta de una gobernanza eficaz del agua subterránea es una de las principales causas del agotamiento, la contaminación y el deterioro de la calidad química de los acuíferos.

Las características generales de las aguas subterráneas y los antecedentes históricos en el noreste de la provincia de Buenos Aires indican una situación crítica en cuanto a la disminución de las reservas y el deterioro de la calidad química del agua subterránea, que afectan al acuífero Puelche.

El régimen actual en áreas urbanizadas presenta una complejidad y variabilidad mayores que en condiciones naturales, lo cual requiere la realización de estudios exhaustivos, la implementación de nuevas metodologías con bases científicas y la identificación de un sistema de conservación y protección de las reservas de agua dulce que facilite un desarrollo sostenible de la región. Ese mejor conocimiento hidrogeológico debe proporcionar a las autoridades gubernamentales y los usuarios en general datos útiles como base para establecer directrices que mejoren la gobernanza de las aguas subterráneas.

La posibilidad de revertir la situación debe asociarse al planteo de pautas adecuadas de manejo. Así, es necesario usar en forma complementaria y armónica las aguas superficiales y subterráneas, tendiendo a la preservación del recurso y del ambiente. Las áreas de explotación deberían encontrarse en zonas protegidas y alejadas de la zona de descarga regional para disminuir las posibilidades de contaminación y salinización. Se deben compatibilizar los excesos de agua que alimentan las aguas subterráneas con las demandas y reservas del recurso hídrico. Cualquier política de explotación que se implemente debe englobar los efectos inmediatos y a largo plazo sobre el ambiente.

REFERENCIAS:

1. UNESCO. (2012). *Los recursos de agua subterránea del mundo están sufriendo los efectos de una gobernanza insuficiente*. Recuperado de http://www.unesco.org/new/es/natural-sciences/about-us/single-view/news/worlds_groundwater_resources_are_suffering_from_poor_governance_experts_say/

2. Hydrogeology Journal. (2006). "Social and economic aspects of groundwater governance". En: Llamas, M.R.; Mukherji, A.; Shah, T. (Eds.) Thematic Issue, *Hydrogeology Journal*, (14) 269-432.

3. Custodio, E. (2010). "Aspectos éticos de la dominada crisis del agua". En: Llamas M.R. (Eds.), *Implicaciones éticas en algunos debates científicos* (91-119). Madrid: Instituto de España.

4. Auge, M. P.; Hernández, M. y Hernández, L. (2002). "Actualización del conocimiento del acuífero semiconfinado Puelche en la Provincia de Buenos Aires". En: Bocanegra, E., Martínez, D. y Massone, H. (Eds.), *Groundwater and Human Development* (624-633). Mar del Plata.

5. Kruse, E.; Laurencena, P.; Varela, L. y Rojo A. (2003). "Agua subterránea en el área metropolitana de Buenos Aires". En: *Las aguas bajan turbias en la Región Metropolitana del Gran Buenos Aires* (29-42). Buenos Aires: Ediciones Al Margen y Universidad Nacional de General Sarmiento.

6. Kruse, E.; Varela, L.; Laurencena, P.; Deluchi, M., Rojo, A. y Carol, E. (2004). "Modificaciones del ciclo Hidrológico en un Área del Noreste de la Provincia de Buenos Aires, Argentina". *Serie Hidrogeología y Aguas Subterráneas* (11), 131-139. Madrid: Instituto Geológico Minero de España.

7. Auge, M. P. (2005). "Hidrogeología de La Plata, Provincia de Buenos Aires". 16.º Congreso Geológico Argentino, Relatorio: 293-312, La Plata.

8. Sala, J. M. y Auge M. P. (1973). "Presencia de capas filtrantes en el noreste de la Provincia de Buenos Aires. Su determinación". *Actas V Congreso Geológico Argentino*, Tomo V, (185-194). Buenos Aires.

9. Sala, J. M., Hernández M. A., Kruse, E. (1982). "Groundwater regime forecasting with inadequate data in Argentina". *IAHS* (136) 314-324.

10. Auge, M. P. (1995). *Manejo del agua subterránea en La Plata, Argentina*. Convenio IDRC-UBA. Inédito.

11. Llamas, R. y Custodio, E. (1999). "Aguas Subterráneas". *Revista CIDOB d'Afers Internacionals* (46) 35-57.

12. Ainchil, J.; Kruse, E. (2002) Características hidrogeológicas de la Planicie Costera en el Noreste de La Plata, Buenos Aires, Argentina. *Groundwater and Human Development. Mar del Plata (Argentina)*. XXXII IAH Congress. Proceedings: 606-612.

13. Ainchil, J. (2009). *Coastal Plain in Northeastern Buenos Aires Province: hydrogeological characteristics. Dottorato di Ricerca in Scienze Ambientali*. Università Ca' Foscari Venezia. Italia.

14. Kruse, E.; Carol, E.; Mancuso, M., Laurencena, P., Deluchi, M. y Rojo, A. (2013) "Recharge assessment in an urban area: a case study of La Plata, Argentina". *Hydrogeology Journal*. DOI 10.1007/s10040-013-0981-4.

Eduardo E. Kruse es Director del (CITNOBA) Centro de Investigaciones y Transferencia del Noroeste de la Provincia de Buenos Aires (CONICET-UNNOBA). Es Investigador Principal del Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Tecnológicas de Argentina (CONICET) y Profesor Titular de la Universidad Nacional de La Plata. Su línea de investigación se relaciona fundamentalmente con hidrología ambiental, en especial con evaluación de aguas subterráneas, aguas superficiales, riesgos ambientales y costeros.